

DESAIN DAN UJI KINERJA GENERATOR AC FLUKS RADIAL MENGGUNAKAN 12 BUAH MAGNET PERMANEN TIPE *NEODYMIUM* (NdFeB) SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

Gatot Eka Pramono¹, Fithri Muliawati², Nur Fajri Kurniawan³

¹Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Univaersitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar km. 2 Bogor, Kode Pos 16162

²Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Univaersitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar km. 2 Bogor, Kode Pos 16162

³Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Univaersitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar km. 2 Bogor, Kode Pos 16162

Email: osdfajri@gmail.com

ABSTRACT

Technological developments encourage the use of electrical energy in large amounts which caused the crisis of it. One of solution to reduce the crisis is the utilization of renewable energy. The kind of renewable energy that is currently popular is like water energy, wind energy and ocean current energy which require low rpm generator devices without additional excitation. This research is to design an radial flux AC generator using the permanent magnet type neodymium (NdFeB) dimension of 50 mm × 15 mm × 6 mm, 12 units, with the number of stator coil windings 110 using copper wire diameter of 1 mm. The objective of this research was to obtain the results of the calculation of the strength of the shaft as well as the characteristics of the resulting voltage and power generator. An shaft of diameter 18 mm used in the planning calculations, otherwise in testing use the shaft of diameter of 20 mm. Actual shaft shear stress $\tau = 11.40$ MPa, while the shaft shear stress permits $\tau_a = 48.75$ MPa. The calculation in the shaft produces: critical speed (N_{cr}) = 4462 rpm; The maximum deflection under the weight of the rotor, $y_{max} = -0.0477$ mm; and deflection due to the rotation $y = 0.617$ mm. Tests without a load at 1075 rpm rotation obtained voltage of 101.4 V while the heater element 20 Ω load was obtained a voltage of 64.7 V and a current was 2.40 A with calculation power result of 155.30 W.

Keywords: AC Generator, Permanent Magnet, Radial Flux, Shaft, Induction Voltage, Power

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan masyarakat dunia. Perkembangan teknologi yang pesat mendorong penggunaan energi dalam jumlah besar, dan seiring berjalannya waktu, dunia pada umumnya dan Indonesia pada khususnya mengalami krisis energi, terutama energi yang berasal dari fosil[1]. Krisis energi yang melanda Indonesia khususnya energi listrik telah memaksa berbagai pihak untuk mencari solusi dalam mengatasi persoalan ini, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mencari energi alternatif selain minyak bumi dan batubara yang semuanya berasal dari fosil[2]. Untuk menanggulangi hal ini maka banyak penelitian yang mengkaji pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti energi air, energi angin, energi gelombang laut, dan energi arus laut yang membutuhkan perangkat generator putaran rendah tanpa eksitasi tambahan untuk dapat menghasilkan listrik[3].

Sistem pembangkit tenaga listrik generator mempunyai peran yang sangat penting yaitu sebagai penghasil energi listrik. Generator listrik adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang berbasis pada induksi magnet[4]. Karakteristik generator dibedakan pada arah fluks yaitu radial dan aksial, sesuai dengan kebutuhan, generator yang digunakan pada pembangkit listrik ialah generator yang bisa digunakan dalam putaran rendah (*low speed induction generator*) dengan menggunakan magnet permanen, sedangkan generator yang digunakan dipusat-pusat pembangkit atau yang dipasaran adalah generator yang berjenis *high speed induction generator*, generator jenis ini ini membutuhkan putaran tinggi, selain itu instalasinya lebih rumit dan memerlukan biaya besar untuk pembuatan serta perawatannya[5].

Generator magnet permanen fluks radial adalah salah satu jenis mesin listrik yang dapat membangkitkan energi listrik yang menghasilkan arus bolak-balik (AC), generator ini biasa disebut dengan RFPM (*Radial Flux Permanent Magnet*).

Generator ini membangkitkan medan magnet dari kutub magnet permanen yang terlatak pada rotor sehingga tidak perlu pencatutan arus searah untuk membangkitkan garis-garis medan magnet. Generator magnet permanen fluks radial bisa beroperasi pada putaran rendah dan tinggi selain itu generator ini memiliki keunggulan mudah dalam pemasangan magnet permanen dan biasa dimanfaatkan pada pembangkit listrik. Magnet permanen yang akan digunakan pada generator ini menggunakan bahan *Neodymium Iron Boron* (NdFeB)[6]. NdFeB merupakan magnet permanen yang paling banyak digunakan pada pembuatan generator fluks radial maupun fluks aksial, magnet permanen digunakan untuk menghasilkan fluks magnet.

Tugas akhir ini akan merancang sebuah generator AC fluks radial dengan menggunakan magnet permanen jenis *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) sebagai pembangkit listrik, dimana pada generator ini hasil akhir yang ingin didapat dari penelitian adalah untuk memperoleh unjuk kerja dari generator AC fluks radial magnet permanen dan desain konstruksi yang digunakan pada perancangan ini dapat mengoptimalkan kerja generator, serta memperoleh karakteristik tegangan dan daya yang dikeluarkannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Momen Puntir

Menghitung momen puntir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots (1)$$

rpm

Dimana:

T = Momen puntir ($N.m$)

P_d = Daya rencana (kW)

N_{rpm} = Putaran (rpm)

2.2 Tegangan Geser

Menghitung tegangan geser yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{T}{\left[\frac{d_s}{16}\right]} = \frac{5.1 \times T}{d_s^3} \dots\dots\dots (2)$$

2.3 Tegangan Geser Izin

Menghitung tegangan izin dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{(sf1 \times sf2)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

τ_a = Tegangan geser izin (MPa)

σ_b = Tegangan geser izin (MPa)

$sf1$ = Faktor keamanan untuk jenis bahan

$sf2$ = Faktor keamanan untuk beban poros

2.4 Diameter Poros

Merencanakan suatu diameter poros untuk mendapatkan diameter poros minimum dapat diditung dengan persamaan sebagai berikut:

$$d_s \left[\frac{5.1}{\tau_a} K_t \times C_b \times T \right]^{1/3} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

d_s = Diameter poros minimum (m)

τ_a = Tegangan geser izin (N/m^2)

K_t = Faktor koreksi tumbukan.

C_b = Faktor keamanan jika terjadi beban lentur.

2.5 Putaran Kritis Poros

Poros yang berputar melewati putaran kritisnya akan mencapai keadaan setimbang, berikut ini persamaan untuk mencari putaran kritis poros:

$$N_{cy} = \frac{\omega_n \times 60}{2\pi} \dots\dots\dots (5)$$

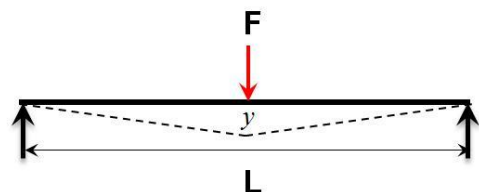
Dimana:

N_{cr} = Putaran kritis poros (rpm)

ω_n = Frekuensi natural sistem (rad/s)

2.6 Defleksi Maksimum Poros

Menghitung defleksi maksimum poros dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram Benda Bebas untuk Pembebanan Poros

$$Y_{maz} = \frac{FL^3}{192EI} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

L = Panjang poros (m)

E = Modulus elastisitas bahan (N/m^2)

I = Momen inersia (m^4)

2.7 Defleksi Poros Akibat Putaran

Menghitung defleksi poros akibat putaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = \frac{e x r}{1 - r^2} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

r = Rasio frekuensi.

e = Massa esentrik (m)

2.8 Prinsip Kerja Generator

Generator menggunakan prinsip kerja hukum *Faraday* yaitu bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka didalam kawat tersebut akan terbentuk GGL induksi. Demikian pula sebaliknya sepotong kawat penghantar listrik digerak-gerakan dalam medan magnet, maka kawat penghantar tersebut terbentuk GGL induksi.

Hukum *Faraday* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

ε = Tegangan induksi (V)

N = Jumlah kawat penghantar listrik.

$\Delta\phi$ = Perubahan fluks magnet (Wb)

Δt = Perubahan waktu (Detik)

2.9 Menghitung Luas Magnet

Menghitung besar luas medan magnet yang terjadi pada generator dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_{magn} = p \times l \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

p = Panjang magnet (m)

l = Lebar magnet (m)

2.10 Menghitung Kuat Medan Magnet Maksimum

Menghitung kuat medan magnet maksimum dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$B_{max} = B_r \cdot \frac{l_m}{l_m + \delta} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

B_r = Densitas fluks magnet (T)

l_m = Panjang magnet (m)

δ = Celah udara antara rotor dan stator (m)

2.11 Menghitung Fluks Magnet Maksimum

Menghitung fluks magnet maksimum dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi_{max} = A_{max} \times B_{max} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

A_{max} = Luas medan magnet maksimum (m^2)

B_{max} = Kuat medan magnet maksimum (T)

2.12 Desain Perancangan Generator AC Magnet Permanen Fluks Radial

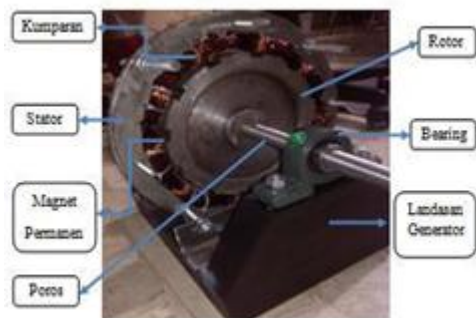
Desain perancangan dan perhitungan generator AC magnet permanen fluks radial secara teoritis telah dituangkan pada bab dasar teori. Parameter yang mendasar untuk meningkatkan kinerja generator AC magnet permanen fluks radial akan ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Data Parameter Perancangan Generator AC Magnet Permanen Fluks Radial

Parameter	Lambang	Nilai
Kerapatan fluks magnet	B_r	1,195 T
Dimensi magnet	Panjang	0,050 m
	Lebar	0,015 m
	Tinggi	0,006 m
	Nm	12
Jumlah magnet		
Radius luar magnet	r_o	0,10 m
Radius dalam magnet	r_i	0,094 m
Jarak antar magnet	τ_f	0,036 m
Celah udara		0,005 m
Jumlah lilitan	N	110 (Tembaga 1 mm)
Jumlah kumparan	N_s	9

Jumlah fasa	Nph	3
Jenis stator	Stator dengan Inti Besi	

Parameter diatas dapat dijadikan gambaran secara umum mengenai perancangan generator yang telah dibuat. Generator ini terdiri dari beberapa komponen yang dirakit atau *diassembling* menjadi satu kesatuan utuh, kemudian dilakukan pengujian serta analisis hasil pengujian. Generator yang telah dirakit dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Generator AC Magnet Permanen Fluks Radial

2.13 Pengujian dan Analisis Data

Ada beberapa metode pengujian dan analisis data diantaranya: perhitungan, pengujian tanpa beban, dan pengujian dengan beban.

1. Perhitungan

Perhitungan ini dilakukan untuk dasar dalam menganalisa hasil perhitungan kekuatan poros dan menganalisa hasil pengujian dengan hasil perhitungan yang dilakukan. Ada tiga perhitungan yang dilakukan tanpa melakukan pengujian terlebih dahulu, yaitu perhitungan luas area, kuat medan maksimum, dan *fluks* magnet maksimal.

2. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian generator tanpa beban menggunakan bantuan mesin bubut sebagai penggerak mula. Pengujian tanpa beban terdiri satu variasi stator dengan diameter kawat tembaga 1 mm dan jumlah lilitannya 110 lilitan pada setiap kumparan. Perhitungan yang dapat diperoleh dalam pengujian tanpa beban adalah frekuensi, tegangan induksi, dan perbandingan tegangan induksi antara perhitungan dan pengujian

3. Pengujian Berbeban

Pengujian berbeban ini akan menghasilkan tegangan induksi, kuat arus, serta daya yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan beban Elemen *Heater* 20 Ω

3. HASIL DAN PEMBAHAN

3.1 Menghitung frekuensi (*f*) hasil pengujian

Frekuensi yang dihasilkan dari sebuah generator, maka dilakukan pengujian dengan diketahui besaran putaran (*rpm*) dan jumlah kutubnya. Pengujian generator ini ada delapan putaran yang diperoleh dari pengujian menggunakan tachometer mulai dari interval putaran 86 *rpm* sampai dengan putaran 1075 *rpm*. Contoh perhitungan menggunakan putaran terkecil yaitu (*Ns*) = 85 *rpm* dan jumlah kutubnya (*p*) = 12, sehingga seperti persamaan (2.11) bahwa untuk menghitung frekuensi sebagai berikut:

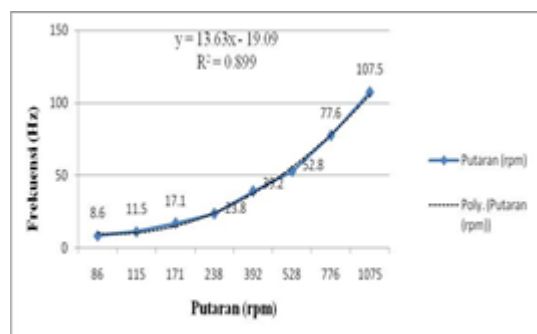
$$f = \frac{86 \times 12}{120}$$

$$f = 8,6 \text{ Hz}$$

Tabel 2 dibawah ini adalah perhitungan dari delapan pengujian variasi putaran (*rpm*) yang dilakukan dimulai dari putaran 86 *rpm* sampai dengan putaran 1075 *rpm*.

Tabel 2 Putaran Vs Frekuensi

No	Jumlah Kutub Rotor	Putaran (<i>rpm</i>)	Frekuensi (Hz)
1.	12	86	8,6
2.	12	115	11,5
3.	12	171	17,1
4.	12	238	23,8
5.	12	392	39,2
6.	12	528	52,8
7.	12	776	77,6
8.	12	1075	107,5



Gambar 3 Grafik Hubungan Antara Putaran dengan Frekuensi

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan kutub rotor berjumlah 12, sehingga persamaan yang didapat $y = 13,63x - 19,09$ hubungan antara putaran dan frekuensi berbanding lurus dengan $R^2 = 0,899$, dimana semakin besar putarannya maka hasil nilai frekuensinya juga sama besar.

3.2 Perbandingan perhitungan dan pengujian tegangan induksi tanpa beban

Perhitungan tegangan induksi ini dapat diketahui Sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_{max} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{9}{3}$$

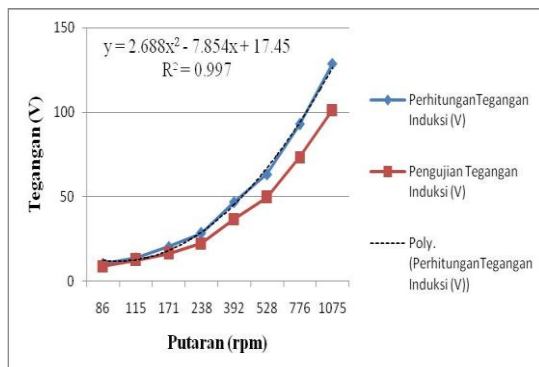
$$= \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times 110 \times 107.5 \times 8.175 \times 10^{-4} \times \frac{9}{3}$$

$$= 128.8 \text{ V}$$

Perbandingan perhitungan dan pengujian tegangan induksi tanpa beban ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar deviasi (%) dari selisih yang dihasilkan antara perhitungan dan pengujian tegangan induksi tanpa beban maka dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Perbandingan Perhitungan dan Pengujian Tegangan Induksi Tanpa Beban

Putaran (rpm)	Hitung (V)	Uji (V)	Deviasi (%)
86	10,3	9,0	87,38
115	13,8	12,5	90,58
171	20,5	16,4	80,00
238	28,5	22,5	78,95
392	47,0	36,8	78,30
528	63,3	49,7	78,52
776	93,0	73,4	79,00
1075	128,8	101,4	78,73
Rata-rata			81,43



Gambar 4 Grafik Hubungan Antara Perhitungan dan Pengujian Tegangan Induksi Tanpa Beban

Data pada Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukan bahwa ada perbedaan hasil perhitungan dengan pengujian. Putaran 115 rpm besar deviasi adalah 90,58%, presentase tersebut yang paling optimal dari delapan variasi putaran yang diuji. Sedangkan pada putaran 1075 rpm yang mana menghasilkan tegangan paling besar hanya 88,73% untuk deviasinya, hal ini menunjukan bahwa tidak selamanya deviasi berbanding lurus antara putaran

dengan tegangan yang dihasilkan. Deviasi rata-rata secara keseluruhan adalah sebesar 81,43%.

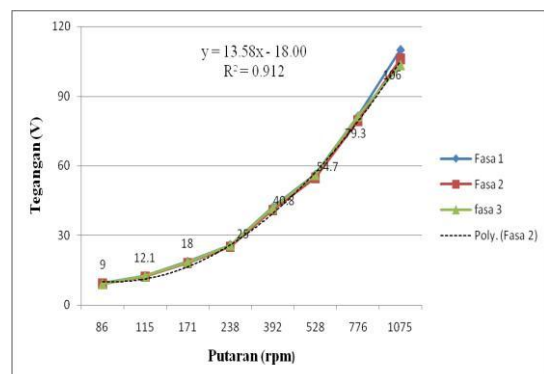
Deviasi tegangan induksi antara perhitungan dan pengujian semakin putarannya kencang semakin besar deviasinya, hal ini disebabkan oleh rugi-rugi yang diakibatkan oleh generator ketika pada putaran kencang seperti: Rugi-rugi tembaga, rugi arus pusar (*eddy current*), rugi-rugi mekanis, dan beban *stray*

3.3 Hasil pengujian tegangan induksi 3 fasa tanpa beban

Pengujian tegangan 3 fasa tanpa beban menggunakan mesin bubut sebagai penggerak mula. Hasil dari pengujian generator dapat dilihat Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian Induksi 3 Fasa Tanpa Beban

Putaran (rpm)	Tegangan Keluaran (V)		
	Fasa 1	Fasa 2	fasa 3
86	9.3	9	9
115	12.5	12.1	12.4
171	18.6	18	18.5
238	25.8	25	25.7
392	42	40.8	41.7
528	56.2	54.7	56
776	81.3	79.3	81.3
1075	110	106	103.4



Gambar 5 Grafik hubungan Antara Putaran dengan Tegangan 3 Fasa Tanpa Beban

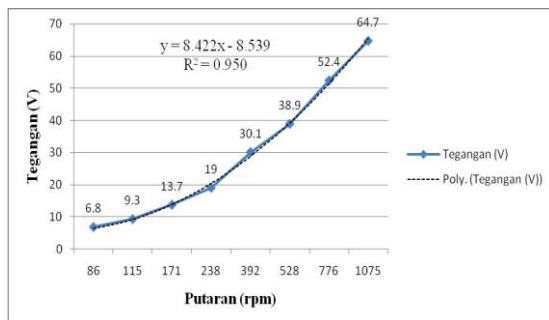
Berdasarkan Gambar 5 menunjukan bahwa tegangan 3 fasa tanpa beban pada stator dengan inti besi menghasilkan persamaan $y = 13,58x - 18,00$ dengan $R^2 = 0,912$. Pengukuran yang dilakukan pada tegangan 3 fasa berbanding lurus dengan jumlah putaran, maka semakin besar jumlah putaran akan semakin besar pula nilai tegangan yang dihasilkan yaitu 106 V.

3.4 Pengujian dengan Beban

Pengujian tegangan induksi dengan beban menggunakan alat ukur *automotive* meter dengan bantuan mesin bubut sebagai penggerak mula. Beban pada pengujian tegangan induksi dengan beban berupa Elemen *Heater* 20 Ω . Hasil pengujian dengan beban tegangan induksi dan kuat arus dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut:

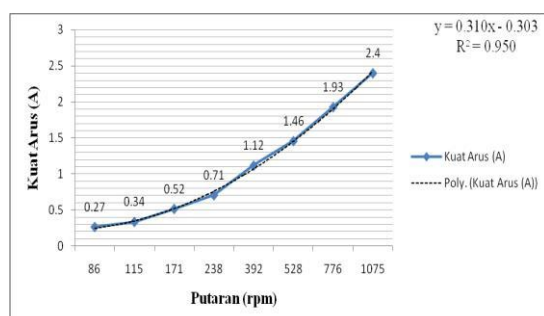
Tabel 5 Hasil Pengujian dengan Beban Tegangan Induksi dan Kuat Arus

Putaran (rpm)	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)
86	6,8	0,27
115	9,3	0,34
171	13,7	0,52
238	19,0	0,71
392	30,1	1,12
528	38,9	1,46
776	52,4	1,93
1075	64,7	2,40



Gambar 6 Grafik Hubungan Antara Putaran dan Tegangan Induksi dengan Beban

Berdasarkan Gambar 6 diketahui perbandingan pengujian tegangan induksi dengan beban *Heater* dan hambatannya 20 Ω menghasilkan persamaan $y = 8,422x - 8,539$ dengan $R^2 = 0,950$. Menunjukkan hubungan berbanding lurus antara putaran dengan tegangan induksi yang dihasilkan. Semakin besar putarannya maka akan semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan. Tegangan maksimal pada pengujian dengan beban ini terjadi pada putaran 1075 rpm sebesar 64,7 V.



Gambar 7 Grafik Hubungan Antara Putaran dan Kuat Arus

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan beban *Heater* 20 Ω menghasilkan persamaan yang didapat $y = 0,310x + 0,303$ hubungan antara putaran dan kuat arus berbanding lurus dengan $R^2 = 0,950$, dimana semakin besar putarannya maka akan semakin besar nilai kuat arus yang dihasilkan. Kuat arus maksimal pada pengujian ini terjadi pada putaran 1075 rpm sebesar 2,40 A.

3.5 Perhitungan daya yang dihasilkan

Perhitungan daya diambil dari putaran terkecil yaitu 86 rpm, dengan tegangan yang dihasilkan 6,8 V dan kuat arus 0,27 A. Daya dalam rangkaian tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = E \times I$$

$$= 6,8 \text{ V} \times 0,27 \text{ A} = 1,84 \text{ W}$$

Berikut ini hasil perhitungan daya yang dihasilkan akan ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil Perhitungan Daya yang Dihasilkan

No	Putaran (rpm)	Daya (W)
1	86	1,84
2	115	3,16
3	171	7,12
4	238	13,5
5	392	33,71
6	528	56,80
7	776	101,13
8	1075	155,30

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil yang diperoleh, yaitu Diameter poros pada perhitungan perencanaan poros sebesar 18 mm dan poros yang dipakai pada pengujian sebesar 20 mm aman untuk digunakan dalam pengujian, Tegangan geser yang terjadi pada poros = 11,40 MPa lebih kecil dari harga tegangan geser yang diijinkan pada poros $\sigma_a = 48,75 \text{ MPa}$. Maka, ukuran poros yang direncanakan sudah cukup aman untuk digunakan, Perhitungan putaran kritis poros $N_{cr} = 4462 \text{ rpm}$ nilai ini diatas dari putaran maksimal pada pengujian generator sebesar 1075 rpm. Maka putaran maksimal pada pengujian generator aman untuk digunakan. Serta

perhitungan defleksi maksimum akibat pembebanan pada poros akibat rotor sebesar $y_{max} = -0,477 \text{ mm}$ dan perhitungan defleksi poros akibat putaran sebesar $y = 0,617 \text{ mm}$. Hasil pengujian tegangan tanpa beban stator dengan inti besi ukuran diameter kawat tembaga 1 mm dan jumlah lilitan 110, mendapatkan tegangan yang lebih besar yaitu pada putaran 86 rpm sampai putaran 1075 rpm tegangan yang dihasilkan adalah $9,0 \text{ V}$ dan $101,4 \text{ V}$, dan Hasil pengujian maksimal pada pengujian dengan beban Elemen *Heater* 20Ω dengan ukuran kawat tembaga 1 mm dan jumlah lilitan 110 sebesar $64,7 \text{ V}$ pada putaran 1075 rpm . Kuat arus yang dihasilkan sebesar $2,40 \text{ A}$ dengan daya yang dihasilkan dari perhitungan sebesar $155,30 \text{ W}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jati, Dimas Waluyo, Tejo Sukamdi, Karnoto. Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [2] Asy'ari, Hasyim, Jatmiko, Azis Ardiatmoko. 2012. Desain Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB). Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2012 (SNATI 2012). Yogyakarta. 15-16 juni 2012.
- [3] Putra, Atria Eka. 2014. Perancangan Dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor Dengan Variasi Diameter Kawat. Program Studi Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- [4] Anisman, Skripsi: Perancangan Dan Pengujian Prototipe Mikro Generator AC Magnet Permanen Fluks Aksial. Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor. 2014
- [5] Ridwan, Abrar., Hariyotejo Pujowidodo, Jefri, Helian, Gatot Eka Pramono, Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen, Universitas Indonesia, 2008.
- [6] National Imports LLC, Permanent Magnet Selection and Design HandBook, Magcraft, 2007.